УДК 636.086.1: 539.374: 631.363

Д.И. ЧИСТЯКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ЗЕРНА В ПРОЦЕССАХ ПЛЮЩЕНИЯ НА КОРМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ЖИВОТНЫМ

В работе приведены данные о свойствах обрабатываемой среды, необходимые при проектировании энергосберегающих рабочих органов для переработки зерна на корм сельскохозяйственным животным. Получены количественные оценки изменения основных реологических констант влажного зерна от задаваемых технологических режимов процессов плющения. Обоснованы зависимости между технологическими режимами и выходными параметрами энергозатрат и толщиной зерновой пластины, пригодные для выполнения инженерных расчетов.
Ключевые слова: *влажное зерно, формирование зерновой пластины, реологический анализ, энергосбережение, параметры энергосберегающего технологического процесса, реализуемого рабочим органом.*

Постановка задачи. Современное животноводство является одним из основных потребителей электроэнергии в сельском хозяйстве, почти треть электроэнергии расходуется на процессы дезинтеграции при приготовлении кормов, в составе которых зерно является основным компонентом.

Зерно может быть представлено биополимерным веществом в виде псевдомонолита, обладающего внутренней структурой. С точки зрения физики, зерно представляет собой полидисперсное – коллоидное тело, обладающее упруго-вязкопластичными свойствами. Отсюда вытекает многообразие физико-механических характеристик и непостоянство свойств в процессе протекания технологического процесса дезинтеграции [1].

Накопленные знания о свойствах зерна [2-6] показывают возможность использования аппарата реологии как науки о деформации и течении систем в условиях механического воздействия для интенсификации процесса без дополнительных затрат энергии. С применением принципов управляющей реологии создаётся возможность получения обрабатываемой среды с заданными свойствами и структурой, оптимальными для реализации технологической операции, и синтезируемого рабочего органа. Соответствующая информация о реологических характеристиках компонентов кормов указывают направления поиска новых принципов построения технологического процесса и рабочих органов, обеспечивающих существенное снижение энергозатрат. Однако исследования, описанные в литературе, не дают достаточной информации для обоснования энергосберегающих технологий дезинтеграции влажного зерна плющением и для расчёта рабочих органов с этой точки зрения.

Целью данной работы являлось исследование физико-механических и технологических свойств зерна для получения инженерных методов расчета параметров энергосберегающих рабочих органов, технологического процесса влажного плющения.

Обеспечение адекватности протекания условий эксперимента производственным. Для создания условий протекания эксперимента,

максимально приближенных к производственным, и возможности управления ими были выполнены следующие промежуточные исследования.

Обосновывалось достаточное количество зёрен в одном опыте путём определения статистических характеристик геометрических параметров воздушно-сухого зерна (влажностью W 12%): толщины a, ширины $в$, длинны l и объёма v. По критерию Стьюдента установлено достаточное количество зёрен при проведении экспериментов для 5%-ной относительной ошибки при доверительной вероятности $\beta = 0{,}95$, равное 50 шт. [7].

Выполнены экспериментальные исследования по определению зависимости процента увеличения геометрических параметров зерна - толщины ($в$,%) и объёма (v,%) - от влажности зерна W и по определению влажности зерна W от времени вымочки $T_{вым}$ [8]:

$$в\% = 98{,}075 + 0{,}1605W \quad (s_1=0{,}00081;\ r_1=1{,}0000); \qquad (1)$$

$$v\% = 88{,}32 + 0{,}9035W \quad (s_2=0{,}287;\ r_2=0{,}9996); \qquad (2)$$

$$W = 27{,}46 + 0{,}358T_{вым} - 0{,}00182T_{вым}^2 \quad (s_3=0{,}363;\ r_3=0{,}9943). \qquad (3)$$

Полученные дисперсии s и коэффициенты корреляции r показывают высокую тесноту связи между исследуемыми величинами и возможность их практического использования [7].

Установлен также технологический предел влажности обрабатываемого зерна - 48%, выше которой зерновая масса прилипает и намазывается на рабочие органы, плющёный материал слипается и теряет свойства сыпучести.

Для проведения испытаний использовалась *лабораторная установка*, снабжённая исполнительным устройством нагружения с системой фиксирования – микрометром индикатором часового типа И.Ч., устройством регистрирования - цифровой камерой с режимом видеосъёмки Canon Power Shot G5 и персональным компьютером Acer inspire, что позволяло производить измерения исследуемых деформаций зерна с абсолютной ошибкой 0,001мм и относительной ошибкой 0,1 – 0,03%.

Подготовленная к испытаниям партия зерна замачивалась для доведения её до соответствующей влажности. Зерновой материал обрабатывался при температуре 20 ^{0}C, при среднем атмосферном давлении и при влажности ниже 48%.

Зёрна формировали в пакет в четыре слоя в каждом. Замеры проводились с трёхкратной повторностью для доведения числа участвующих в опыте зёрен до статистически обоснованной выше величины (50 шт.). При этом через фиксированное время, 6 с., производилось быстрое снятие нагрузки. Видеосъёмку продолжали до конца проведения опыта (для выдержки до фиксируемого прекращения релаксационных процессов) 14 с. Зерно испытывали при нагрузке: 9,8; 19,6; 29,4; 39,2 Н. Результаты замеров с интервалом в 1 с считывались при компьютерной обработке материалов видеосъёмки в замедленном режиме. Результаты эксперимента обрабатывали на ЭВМ, сводили в таблицы и представляли графически.

Для каждого замера рассчитывали относительную деформацию ε, соответствующую текущему времени деформации *t* (выдержка под нагрузкой и после снятия нагрузки) и строили графики $\varepsilon \to t$ функции ε(t) для каждой нагрузки на зерно *P*.

Построение реологических характеристик зерна. По полученному семейству кривых течения зерновой пластины под действием различных нагрузок *P* расчётным путём получили поверхности отклика реологических характеристик зерна, изменяющихся в координатах *P, t,* определяющих режимы процесса плющения. При расчётах было принято допущение, что при плющении из влажного зерна сложной формы объёмом *V* формируется зерновая пластина (в дальнейшем просто пластина), по форме близкая к плоскому цилиндру, объём которого равен *V*, а высота цилиндра равна толщине формируемой пластины *h*. При расчетах объём зерна во влажном состоянии *V* определялся через параметры сухого зерна (см. зависимости (1)-(3)), а высота *h* определялась расчётным путём, через показания индикатора.

В координатах *P – t* построены поверхности отклика реологических и технологических характеристик (в статье ввиду ограничений по объёму не приводятся): напряжения деформации пластины *p* (Па 10^{-6})*;* кажущегося модуля продольной упругости *E* (Па 10^{-6})*;* скорости относительной деформации пластины $\dot{\varepsilon}$ (1/с 10^{-3}); кажущейся динамической вязкости η (Па·с10^{-6}) и периода релаксации вязкого течения зерновой пластины в процессе её формирования *T* с; кинетики толщины (высоты) пластины *h* (мм); суммарной работы для достижения толщины пластины *A* (Дж); средней потребляемой энергии в единицу времени одним зерном для достижения толщины пластины *N* (Вт).

Получение технологических характеристик зерна. Для определения энергозатрат рассчитали и построили для зерна озимой пшеницы влажностью *W*=45% уравнения регрессии средней потребляемой мощности *N* одним зерном для разных нагрузок на зерно *P* при технологически настраиваемом зазоре *δ* между рабочими поверхностями, формирующими зерновую пластину, и толщиной зерновой пластины *H* (с учётом восстановления после снятия нагрузки) соответственно:

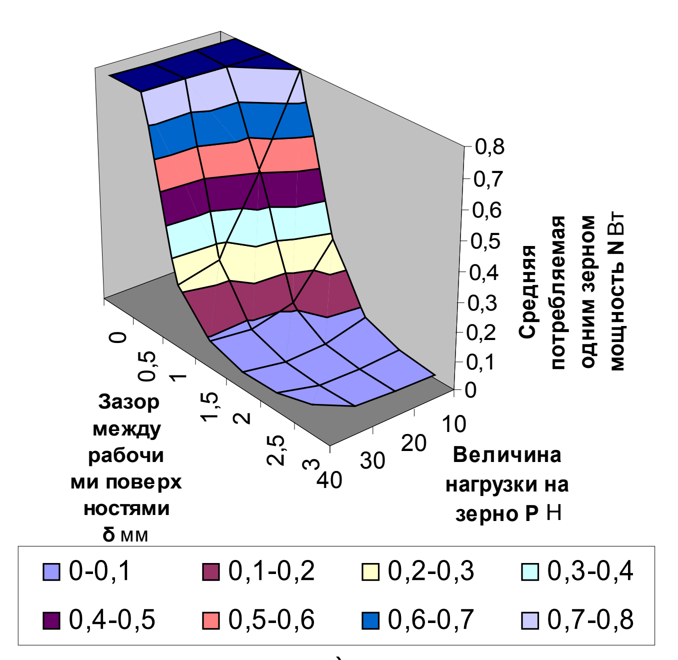
N=3055,8*0,0014^δ*0,0668^(0,1*P)*
*1,894^δ(0,1*P)*2,482^(δ^2)*1,3144^((0,1*P)^2);   (4)

N=2377,73*0,00091^H*0,076^(0,1*P)*
*1,91^H(0,1*P)*2,89^(H^2)*1,27^((0,1*P)^2).   (5)

Результаты расчётов по этим уравнениям отражены на рис.1, а и б.

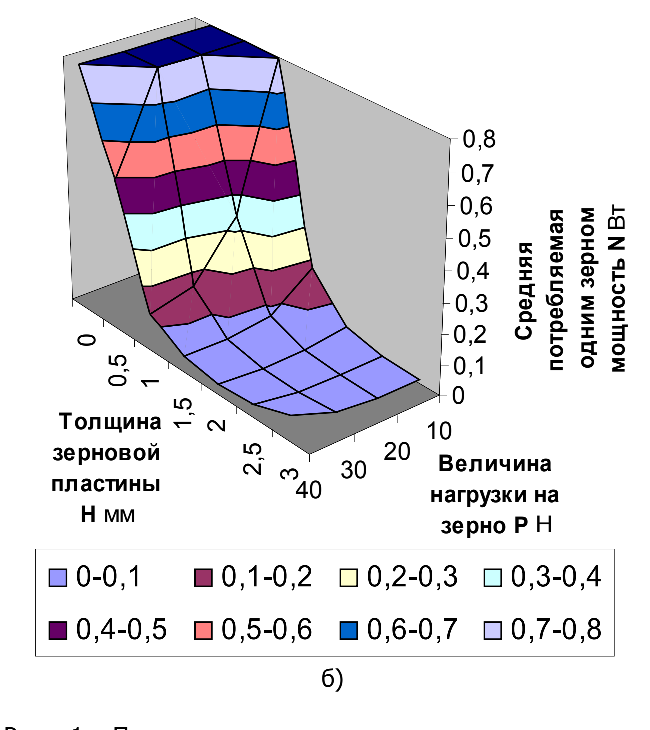
Расход мощности на формирование заданной толщины зерновой пластины зависит от технологических режимов и, в частности, от величины прилагаемой к зерну нагрузки. Выполненные исследования позволили оценить возможные затраты энергии при соответствующих режимах плющения влажного зерна для приготовления корма сельскохозяйственным животным рабочими органами с производительностью П 1т/ч (таблица). В таблице для сравнения приведены мощности существующих установок аналогичного функционального назначения и аналогичной производительности.

нагрузкой t и нагрузкой на зерно Р для W=44,7%



а)

Толщина хлопьевой пластины в зависимости от времени выдержки под нагрузкой t и нагрузкой на зерно Р для W=44,7%



б)

Рис. 1. Поверхность отклика, отражающая среднюю потребляемую энергию в единицу времени *N,* необходимую для деформации одного зерна озимой пшеницы влажностью 45%: *а* - при настроенной величине зазора между рабочими поверхностями; *б* - при толщине зерновой пластины с учётом восстановления *Н*

Сравнительные данные энергозатрат при переработке зерна
на корм сельскохозяйственным животным
различными установками производительностью 1 т/ч

животныхВид	усвоения, ммпластины оптимального Средняя толщина зерновой	Расчётная мощность, потребная для реализации плющения влажного зерна установками, работающими в различных технологических режимах нагружения, кВт.				Существующая мощность двигателя на установках производительностью 1т/ч, кВт			
		P=10Н	P=20Н	P=30Н	P=40Н	Плющилки сухого зерна	Молотковые дробилки	Вальцовые станки	Плющилки влажного зерна
Свиньи	0,8	19,6	5,04	2,1	1,4	22,5	9,3	6,3	4
Овцы	1.3	2,45	0,89	0,50	0,47				
КРС	2,2	0,22	0,15	0,15	0,24				

Установленный диапазон технологического режима, требующего минимальных затрат энергии на осуществление процесса плющения, позволяет определить направление разработки энергосберегающих конструктивно-схемных решений рабочих органов.

Влияние влажности и технологического режима на толщину зерновой пластины. В результате специально организованной серии опытов построена поверхность отклика конечной толщины зерновой пластины *H* (с учётом восстановления её размеров после снятия нагрузки) как функции нагрузки на зерно *P* и времени выдержки до снятия нагрузки *T:*

H=2,88*0,884^T*0,757^(0,1*P)*1,0117^T(0,1*P)*1,02^((0,1*P)^2); (6)

H=3,42*0,978^T*0,549^(0,1*P)*0,9521^T(0,1*P)*1,07^((0,1*P)^2). (7)

Результаты расчётов по этим уравнениям отражены на рис 2.

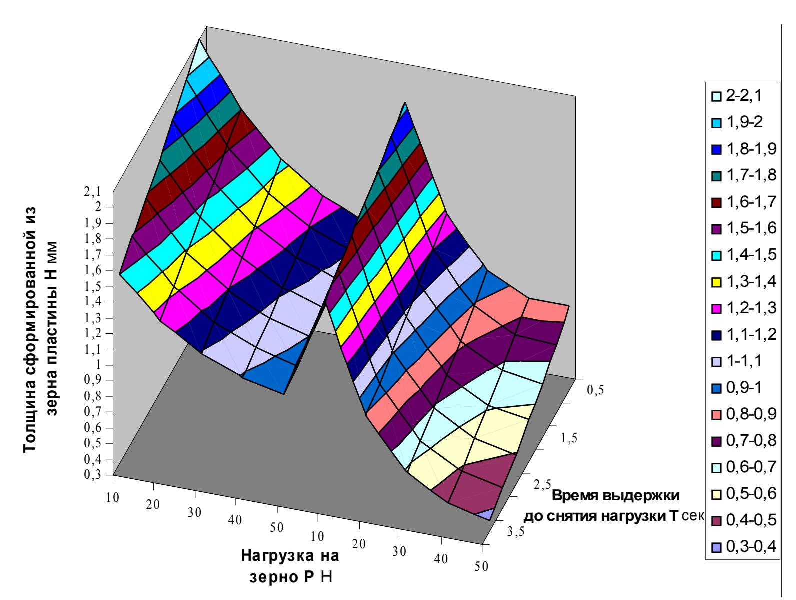


Рис. 2. Поверхность отклика толщины зерновой пластины *H* в зависимости от нагрузки *P* при выдержке под нагрузкой *T* зерна озимой пшеницы (слева поверхность для зерна влажностью 40%; справа – для зерна влажностью 47%)

Полученные уравнения регрессии поверхностей отклика (4)–(7), проверялись на адекватность (соответствие) полученных уравнений регрессии наблюдениям по *критерию Стьюдента* и *критерию серий* по методике, предложенной в работе [9]. Установлено, что для принятого уровня значимости 0,05 наблюдения являются независимыми исходами, и отклонение экспериментальных от теоретических значений случайно.

Одну и ту же толщину зерновой пластины эффективного усвоения данным видом животных можно достигнуть варьированием состояния продукта (влажностью W) и технологическими параметрами его обработки (нагрузка на зерно P и время выдержки под нагрузкой T).

Выводы. Установлен технологический предел влажности обрабатываемого на корм скоту зерна - 48%.

Установлены функциональные связи между геометрическими параметрами зерна, влажностью *W* и временем вымочки $T_{вым}$.

Получены уравнения регрессии для определения средней потребляемой энергии в единицу времени одним зерном озимой пшеницы влажностью 45% при настройке величины технологически необходимого зазора между рабочими поверхностями, формирующими зерновую пластину, и потребляемой энергией одним зерном при формировании из него пластины необходимой толщины.

Получены уравнения регрессии для зерна озимой пшеницы влажностью 40 и 47%, дающие количественную оценку конечной высоты зерновой пластины, которую можно достичь либо увеличением нагрузки, либо увеличением времени выдержки под нагрузкой до её снятия.

Полученные данные могут быть использованы при синтезе конструктивно-схемных решений энергосберегающих рабочих органов для плющения и при выполнении инженерных расчётов по оптимизации их параметров.

Библиографический список

1. *Егоров Г.А.* Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна / Г.А. Егоров - М.: Колос, 1973. - 260с.
2. *Егоров Г.А.* Технология переработки зерна / Г.А. Егоров - М.: Колос, 1977. - 376с.
3. *Малкин А.Я.* Реология в технологии полимеров / А.Я. Малкин - М.: Знание, 1985. - 80с.
4. *Мачихин Ю.А.* Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 216с.
5. .*Ржаницын К.Н.* Теория ползучести / К.Н. Ржаницын. - М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1968. - 216с.
6. *Фомин В.И.* Влажное фракционирование зелёных кормов / В.И. Фомин; Ин-т с.-х. машиностр. – Ростов н/Д, 1978. - 156с.
7. *Ермольев Ю.И.* Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: Учеб. пособие / Ю.И. Ермольев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. - 246с.
8. *Чистяков Д.И.* Синтез схемы и её конструктивной реализации энергосберегающего рабочего органа для плющения. //Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения и высоких технологий, посвящённой 75-летию Донского государственного технического университета. Том II /ДГТУ. – Ростов н/Д. – 2005. – 209-216 с.
9. *Ильченко В.Д.* Методы исследования процессов и аппаратов пищевых производств / В.Д Ильченко, Н.Н Шумская. – Ростов-н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 76 с.

Материал поступил в редакцию 5.12.07.

D.I. CHISTIAKOV

RESEARCH OF PHYSICOMECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF GRAIN IN PROCESSES OF DAMP ROLLING IT FOR A FORAGE OF FARMING ANIMALS, WITH THE PURPOSE OF REVEALING THE DIRECTIONS OF DEVELOPING A POWER-SAVING OPERATING ELEMENTS

The research provides a new data about the properties of cultivated environment for developing a power-saving operating elements for grain processing of a farming animal's forage. It received a new quantitative estimations of changing the basic rheological constants of damp grain in processes of rolling, determining their technological and physic mechanical characteristics. Dependences

between technological modes and structural parameters of operating elements for rolling, suitable for performance engineering are proved.

ЧИСТЯКОВ Дмитрий Игоревич (р.1979), генеральный директор ООО «Терра Дон», магистр техники и технологий, окончил ДГТУ (2001).
Область научных интересов: переработка зерна на корм сельскохозяйственным животным.
Автор 6 научных публикаций.